

Kajian Penanganan Nat Terbuka Pada Selasar Candi Borobudur

Hari Setyawan

Balai Konservasi Borobudur Jl. Badrawati, Borobudur, Magelang 56553

Email :

Abstrak: Sejak dibangun sekitar abad VIII – IX Masehi, sampai dengan saat ini, Candi Borobudur telah mengalami dua kali pemugaran. Pemugaran pertama dilakukan oleh Theodore Van Erp dalam tahun 1907 – 1911 dan pemugaran kedua dilakukan oleh pemerintah Indonesia bekerjasama dengan UNESCO pada tahun 1973 – 1983. Permasalahan stabilitas struktural yang terjadi setelah pemugaran pertama (kemiringan dinding), pada pemugaran kedua ini nampaknya telah terselesaikan, namun demikian masih terjadi pelapukan yang belum sepenuhnya dapat teratasi. Kondisi nat-nat pada lantai selasar saat ini tidak semuanya tertutup oleh mortar pemugaran I. Hal ini disebabkan oleh aktifitas pemasangan pipa beton sebagai saluran drainase dari tubuh candi menuju ke bak kontrol di lereng bukit Candi Borobudur yang dilakukan pada saat pemugaran II. Kegiatan pemasangan pipa beton saluran drainase tersebut dilakukan dengan membongkar sebagian batu-batu pada lantai selasar, yang pada saat pengembalian batu-batu tersebut ke tempat semula tidak disertai dengan penutupan nat. Sehingga apabila terjadi hujan, maka air hujan akan langsung dapat meresap ke dalam tubuh selasar. Akibatnya dapat dimungkinkan apabila air hujan bertemu dengan pipa beton saluran drainase akan terjadi reaksi kimia yang pada akhirnya dapat menimbulkan endapan garam. Endapan garam tersebut secara pelan namun pasti akan membuat batu-batu di sekitar saluran drainase menjadi rapuh. Selain itu, adanya air yang merembes pada dinding selasar dikarenakan nat yang terbuka akan menyebabkan tumbuhnya mikroorganisme. Mikroorganisme tersebut akan mempercepat kerusakan dan pelapukan batu penyusun struktur selasar. Melalui kajian ini akan dibahas pengaruh terbukanya nat selasar pada batu penyusun struktur selasar. Dikarenakan di bawah nat yang terbuka dijumpai saluran drainase yang terbuat dari beton.

Pelaksanaan kajian ini dilakukan di Candi Borobudur. Pembongkaran dilakukan pada bagian selasar Candi Borobudur yang nat-nat batunya terbuka, yaitu pada sisi Barat Daya. Pada saat pembongkaran selasar juga dilakukan pengambilan sampel batu dan tanah di dalam selasar. Sampel batu dan tanah yang diambil berasal dari sekitar saluran drainase yang terbuat dari beton. Analisa terhadap sampel yang diambil dilakukan secara fisik dan kimia. Hal ini untuk mengetahui sebab-sebab kerusakan batu yang mungkin timbul akibat terbukanya nat pada selasar Candi Borobudur. Selanjutnya juga dilakukan percobaan pembuatan mortar tradisional yang sedianya akan digunakan untuk menutup nat selasar yang terbuka.

Berdasarkan hasil analisa fisik dan kimia dapat diambil kesimpulan bahwa terbukanya nat dapat berakibat buruk bagi batu penyusun struktur Candi Borobudur. Sehingga langkah yang dapat diambil berdasarkan kajian ini adalah penutupan kembali nat-nat selasar yang masih terbuka. Hal ini dikarenakan nat-nat selasar yang terbuka mengakibatkan masuknya air maupun kotoran-kotoran yang dapat menimbulkan pengaruh buruk pada batu penyusun struktur selasar Candi Borobudur.

Kata Kunci : Candi Borobudur, selasar, nat terbuka, mortar

I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Candi Borobudur adalah monumen berlatar belakang agama Buddha Mahayana terbesar di Indonesia, yang dibangun oleh Samaratungga dari Dinasti Sailendra pada abad VIII M. Candi tersebut berada pada posisi 7°36'29" LS, 110°12'14" BT, tepatnya di Provinsi Jawa Tengah, empat puluh kilometer barat laut kota Yogyakarta.

Candi Borobudur merupakan sebuah candi tanpa bilik dan tanpa atap dengan bahan dasar batu andesit, berarah hadap timur dengan denah yang simetris. Candi

Borobudur mempunyai tinggi 42 m sebelum dipugar dan 35,4 m setelah dipugar dengan panjang sisi 121,70 m dan lebar sisi 121,40 m. Luas permukaan keseluruhan 21.893 m² dengan luas lantai undag hingga teras III 8420,5 m², serta sepuluh tingkatan dari bawah ke atas dengan teras pertama sampai teras ketujuh berbentuk persegi dan teras selanjutnya berbentuk oval (Balai Konservasi Borobudur, 1991).

Candi Borobudur merupakan stupa prasada dengan sepuluh tingkat yang secara vertikal terdiri atas tiga bagian yaitu, kamadhatu (dunia nafsu), rupadhatu (dunia bentuk), dan arupadhatu (dunia tanpa bentuk)



Foto 1. Kondisi Candi Borobudur setelah pemugaran I (1907 – 1911) oleh Th. Van Erp (dok:BKB).



Foto 2. Kondisi tingkat 7 Candi Borobudur setelah pemugaran I (1907 – 1911) oleh Th. Van Erp (dok:BKB).

(Stuterheim,1950:198). Casparis menyatakan bahwa, Borobudur adalah sebuah kuil nenek moyang, sebagaimana disebutkan dalam prasasti Sri Kahulunan 842 M yang menyebut Borobudur sebagai "...Kamulan I bhumi sambhara...". Kamulan dapat diartikan sebagai kuil atau tempat suci nenek moyang (J. G. de Casparis,1950).

Sejak dibangun sekitar abad VIII – IX masehi dan sampai dengan saat ini, Candi Borobudur telah mengalami dua kali pemugaran. Pemugaran pertama dilakukan oleh Theodore Van Erp dalam tahun 1907 – 1911. Pada pemugaran pertama ini, kegiatan difokuskan pada pembenahan stupa teras dan stupa induk pada tingkat Arupadhatu, sedangkan pada tingkat dibawahnya hanya bagian-bagian tertentu saja yang dipugar atau menata dinding-dinding lorong. Dinding lorong dipugar tanpa melakukan pembongkaran sehingga tetap terjadi kemiringan. Lantai lorong diratakan tanpa membongkar dan memberi perkuatan, yaitu hanya dengan cara menguruk dan memasang batu lantai dengan tatanan batu yang nat-natnya ditutup dengan mortar. Tujuan penutupan dengan mortar adalah untuk meminimalisir penetrasi air ke dalam struktur bangunan yang dapat menyebabkan tanah dasar candi tidak stabil.

Pemugaran kedua dilakukan oleh pemerintah Indonesia bekerjasama dengan UNESCO pada tahun 1973 – 1983. Permasalahan stabilitas struktural yang terjadi setelah pemugaran pertama (kemiringan dinding), pada pemugaran kedua ini nampaknya telah terselesaikan, namun demikian masih terjadi pelapukan yang belum sepenuhnya dapat teratasi. Pelapukan dalam dikarenakan endapan garam masih terus terjadi dan membutuhkan perhatian serius. Penanganan endapan garam membutuhkan pemahaman yang mendalam dan komprehensif mengenai proses terjadinya dan faktor-faktor yang turut mempengaruhi. Salah satu faktor yang diduga turut berperan dalam terjadinya endapan garam

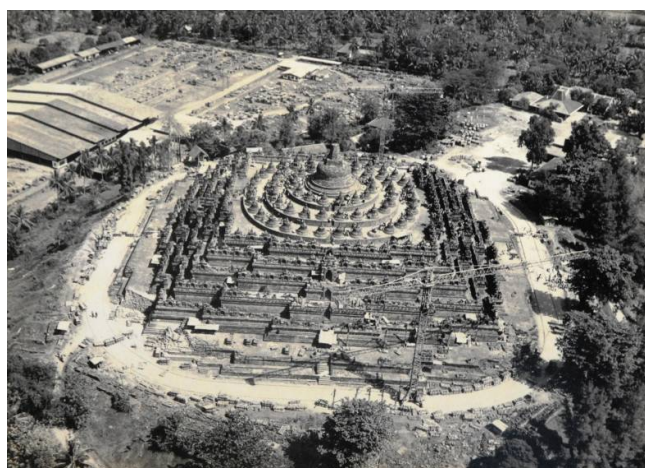


Foto 3. Kondisi tingkat 7 Candi Borobudur pada saat pemugaran II (1973 – 1983) oleh pemerintah Republik Indonesia (dok:BKB).

tersebut adalah mortar yang diaplikasikan pada pemugaran I. Mortar pemugaran I tersebut saat ini masih dijumpai pada selasar dan teras-teras stupa yang memang tidak dibongkar pada pemugaran II. Sedangkan mortar yang ada pada daerah rupadhatu sudah dihilangkan pada pemugaran II. Pemugaran kedua dilakukan oleh pemerintah Indonesia bekerjasama dengan UNESCO pada tahun 1973–1983. Permasalahan stabilitas struktural yang terjadi setelah pemugaran pertama (kemiringan dinding), pada pemugaran kedua ini nampaknya telah terselesaikan, namun demikian masih terjadi pelapukan yang belum sepenuhnya dapat teratasi. Pelapukan dalam dikarenakan endapan garam masih terus terjadi dan membutuhkan perhatian serius. Penanganan endapan garam membutuhkan pemahaman yang mendalam dan komprehensif mengenai proses terjadinya dan faktor-faktor yang turut mempengaruhi. Salah satu faktor yang diduga turut berperan dalam terjadinya endapan garam tersebut adalah mortar yang diaplikasikan pada pemugaran I. Mortar pemugaran I tersebut saat ini masih dijumpai pada selasar dan teras-teras stupa yang memang tidak dibongkar pada pemugaran II. Namun demikian



Foto 4. Kondisi selasar pada tingkat 2 Candi Borobudur setelah pemugaran II (1973 – 1983) oleh pemerintah Republik Indonesia. Nat yang terbuka dibawahnya dijumpai saluran drainase (dok:BKB).

mortar yang ada pada daerah rupadhatu sudah dihilangkan pada pemugaran II sehingga saat ini sudah tidak dijumpai lagi.

Pada kajian terdahulu telah dilakukan kegiatan untuk mengungkap secara lebih mendalam mengenai data dan fakta tentang mortar yang digunakan pada pemugaran I sesuai dengan rekomendasi dari Prof. Constantino Meuci, seorang tenaga ahli konservasi yang dikirim oleh UNESCO. Dari kajian terdahulu juga telah didapatkan perkiraan komposisi mortar pemugaran I.

Kondisi nat-nat pada lantai selasar saat ini tidak semuanya tertutup oleh mortar pemugaran I, hal ini disebabkan oleh aktifitas pemasangan pipa beton sebagai saluran drainase dari tubuh candi menuju ke bak kontrol di lereng bukit Candi Borobudur yang dilakukan pada saat pemugaran II. Kegiatan pemasangan pipa beton saluran drainase tersebut dilakukan dengan membongkar sebagian batu-batu pada lantai selasar, yang pada saat pengembalian batu-batu tersebut ke tempat semula tidak disertai dengan penutupan nat. Sehingga apabila terjadi hujan, maka air hujan akan langsung dapat meresap ke dalam tubuh selasar. Akibatnya dapat dimungkinkan apabila air hujan bertemu dengan pipa beton saluran drainase akan terjadi reaksi kimia yang pada akhirnya dapat menimbulkan endapan garam. Endapan garam tersebut secara pelan namun pasti akan membuat batu-batu di sekitar saluran drainase menjadi rapuh. Sehingga dalam jangka waktu lama, dimungkinkan struktur selasar Candi Borobudur dapat runtuh ataupun melesak. Hal ini dapat dilihat pada dinding selasar sisi barat daya. Dinding selasar candi yang batu-batunya mengandung endapan garam mengindikasikan bahwa di dalam selasar terjadi reaksi antara struktur beton pada saluran drainase dengan batu andesit pada selasar.

Selain itu, reaksi kimia antara air hujan dengan pipa beton pada saluran drainase juga dapat berpengaruh

terhadap keberadaan relief Karmawibangga terutama yang berada di dekat pipa. Hal ini akan mengakibatkan batu-batu relief serta batu-batu lain yang berada di dekat pipa kekerasannya akan berkurang dan tingkat keabaannya juga akan meningkat. Pada kajian ini, akan dilakukan kegiatan observasi dan analisis mengenai kondisi nat-nat pada lantai selasar khususnya nat-nat tanpa spesi mortar (terbuka). Kegiatan pada kajian ini pada intinya adalah melakukan observasi lapangan serta analisis laboratorium pada struktur batu selasar yang berada di sekitar sarana drainase. Apakah terbukanya nat menyebabkan terjadinya penggaraman? Berdasarkan kegiatan tersebut kemudian dilakukan interpretasi detail untuk diketahui efektifitas penutupan nat-nat selasar menggunakan mortar sesuai dengan mortar pemugaran I. Sehingga diharapkan dari kajian ini, dapat diperoleh kesimpulan yang tepat mengenai penanganan nat-nat selasar, yang pada akhirnya akan meningkatkan upaya pelestarian candi.



Foto 5. Kondisi permukaan selasar dengan nat batu yang terbuka, dan kondisi dinding selasar yang mengalami kebocoran dan penggaraman (dok:BKB).



Foto 6. Kondisi kerusakan dan pelapukan batu berupa kebocoran dan penggaraman pada dinding selasar dikarenakan penetrasi air yang masuk (dok:BKB).

B. Rumusan Masalah

Kondisi nat-nat selasar yang pada saat ini sebagian masih terbuka (misalnya pada sisi barat daya), menjadi salah satu faktor pemicu timbulnya kerusakan dan pelapukan pada struktur selasar. Penetrasi air melalui nat batu yang terbuka pada selasar mengakibatkan kebocoran maupun penggaraman pada dinding selasar. Dampak negatif yang lain adalah dari reaksi air hujan dengan unsur semen dari pipa beton saluran drainase. Penggaraman pada permukaan dinding selasar sisi barat daya kemungkinan merupakan salah satu wujud dari reaksi yang terjadi tersebut, yaitu pelarutan unsur kalsium dari semen oleh air hujan. Kajian ini dilaksanakan untuk melakukan observasi dan analisis laboratorium terhadap batu-batu di sekitar pipa beton saluran drainase. Sehingga hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan gambaran apakah penutupan nat-nat selasar menggunakan mortar pemugaran I efektif untuk mengurangi penggaraman yang terjadi. Selain itu juga perlu untuk mencoba penggunaan mortar berpori untuk menutup nat pada selasar.

C. Maksud dan Tujuan

Kajian ini dimaksudkan untuk menjaga kelestarian struktur Candi Borobudur, khususnya pada selasar dan undag. Tujuan yang dicapai adalah untuk mengetahui kondisi batu Candi Borobudur di sekitar saluran drainase pada selasar dengan kondisi nat yang terbuka. Dampak yang terjadi pada kondisi selasar dengan nat terbuka menjadi dasar untuk melakukan percobaan menggunakan mortar berpori untuk menutup nat pada selasar.

D. Manfaat

Manfaat yang diharapkan adalah rekomendasi penanganan nat pada selasar Candi Borobudur, khususnya pada nat yang terbuka. Manfaat lainnya adalah diketahuinya efektifitas penutupan nat pada selasar Candi Borobudur menggunakan mortar, yang dapat dijadikan dasar untuk menutup semua nat yang terbuka pada Candi Borobudur. Keberlanjutan penelitian juga diharapkan menjadi acuan untuk kajian selanjutnya. Khususnya yang berkaitan dengan kondisi nat pada Candi Borobudur.

E. Ruang Lingkup

Ruang lingkup kajian ini dibatasi pada nat-nat lantai selasar Candi Borobudur yang terbuka. Pengamatan pada kondisi nat yang terbuka diharapkan dapat mengetahui pengaruh terhadap batu penyusun struktur selasar Candi Borobudur. Pengamatan terhadap batu penyusun struktur selasar Candi Borobudur di sekitar saluran drainase dilakukan dengan pembongkaran selasar yang nat batunya terbuka.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Kajian atau studi mengenai selasar Candi Borobudur sudah dilakukan, di antaranya pada tahun 2007 dan 2008. Pada tahun 2007 telah dilaksanakan dua kajian yaitu "Studi Kemiringan dan Kemelesakan Selasar Candi Borobudur" yang dilakukan oleh Soenarjo, S.H. dkk dan kajian "Alternatif Sistem Perkuatan Selasar Candi Borobudur" yang dilakukan oleh Suyanto dkk. Sementara itu pada tahun 2008 telah dilaksanakan kajian "Analisis Mortar Pemugaran I dan Kajian Kemungkinan Dampaknya Terhadap Kelestarian Candi Borobudur" yang dilakukan oleh Nahar Cahyandaru, S.Si., dkk.

Pada kajian "Kemiringan dan Kemelesakan Selasar Candi Borobudur" direkomendasikan bahwa, berbagai fenomena yang mengancam kelestarian Candi Borobudur tentunya harus segera dilakukan tindakan perbaikan, berupa konsolidasi bagian selasar. Selanjutnya apabila selasar dan undag sudah dilakukan perbaikan, diharapkan dilakukan monitoring secara berkala dan berkelanjutan, agar jika terjadi deformasi baik arah horizontal maupun arah vertikal sekecil apapun dapat diketahui sedini mungkin, kemudian ditindaklanjuti sesuai prosedur. Sementara itu pada kajian "Alternatif Sistem Perkuatan Selasar Candi Borobudur" direkomendasikan adanya penelitian atau pengeboran tanah di bawah bangunan selasar dan undag untuk mendapatkan informasi geoteknik yang akurat guna perencanaan konstruksi perkuatan selasar Candi Borobudur. Selain itu juga perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai rencana sistem perkuatan selasar dan undag Candi Borobudur dengan menitikberatkan pada penentuan bentuk, dimensi, dan jenis konstruksi perkuatan selasar yang tepat. Kedua kajian pada tahun 2007 seperti yang telah disampaikan di atas berbeda dengan kajian tentang selasar Candi Borobudur yang dilakukan pada tahun 2008. Pada kajian 2008 yang berjudul "Analisis Mortar Pemugaran I dan Kajian Kemungkinan Dampaknya Terhadap Kelestarian Candi Borobudur" memberikan penekanan yang besar bukan pada kekuatan struktur selasar seperti dua kajian sebelumnya, melainkan pada mortar pada nat selasar yang di tutup pada pemugaran I.

Kedua kajian pada tahun 2007 seperti yang telah disampaikan di atas berbeda dengan kajian tentang selasar Candi Borobudur yang dilakukan pada tahun 2008. Pada kajian 2008 yang berjudul "Analisis Mortar Pemugaran I dan Kajian Kemungkinan Dampaknya Terhadap Kelestarian Candi Borobudur" memberikan penekanan yang besar bukan pada kekuatan struktur selasar seperti dua kajian sebelumnya, melainkan pada mortar pada nat selasar yang di tutup pada pemugaran I.

Kajian yang akan dilakukan tahun ini yang berjudul

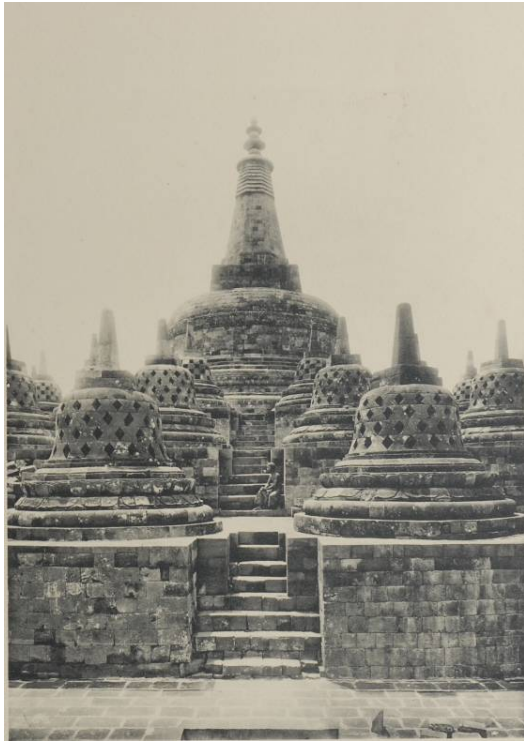


Foto 7. Kondisi bagian Arupadhatu (tingkat 7 – 10) Candi Borobudur setelah di pugar oleh Th. Van Erp (1907 – 1911) (dok:BKB).

“Penanganan Nat Selasar Candi Borobudur” juga tidak menekankan pada kekuatan struktur selasar Candi Borobudur melainkan pada konservasi batu candi penyusun struktur selasar Candi Borobudur. Upaya yang akan dilakukan adalah melakukan penanganan pada nat selasar yang terbuka. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui dampak yang timbul yang dapat mengancam kelestarian Candi Borobudur, karena dikhawatirkan terjadi penggaraman. Hal ini dikarenakan air hujan yang masuk ke sela-sela nat bereaksi dengan saluran drainase yang berkonstruksi beton.

Pemugaran I dan II ternyata menyisakan permasalahan masih harus di cari jalan pemecahannya. Salah satu masalah di antaranya adalah penggaraman baik pada dinding candi, pagar langkan, maupun pada dinding selasar. Sementara itu beberapa hal yang perlu di catat pada saat pemugaran I dan II adalah sebagai berikut.

A. Pemugaran I oleh Th. van Erp (1907 – 1911)

Usaha-usaha yang dilakukan pada pemugaran I oleh van Erp dititikberatkan pada tiga hal utama untuk menyelamatkan Candi Borobudur:

a. Pembenahan stupa induk dan stupa teras (Arupadhatu)

Pembenahan bagian Arupadhatu pada pemugaran van Erp merupakan bagian penting dari pemugaran. Batu-batu stupa teras yang berserakan dapat disusun kembali, dan stupa induk juga dapat dibentuk kembali secara utuh. Hal menarik dalam penyusunan kembali

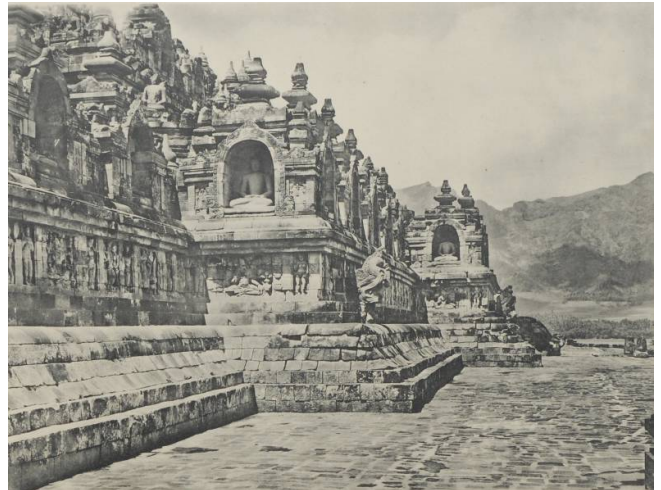


Foto 8. Kondisi selasar pada tingkat 2 Candi Borobudur setelah pemugaran I (1907 – 1911) oleh Th. Van Erp (dok:BKB).

stupa ini adalah dipasangnya chatra pada puncak stupa induk. Lantai dasar teras juga mendapat perhatian penting dengan penyusunan kembali secara rapi. Lantai teras tersebut selanjutnya di tutup nat-natnya dengan mortar untuk meminimalkan penetrasi air ke dalam struktur candi

b. Pembenahan dinding-dinding lorong dan pagar langkan (Rupadhatu)

Pembenahan bagian Rupadhatu bersifat parsial karena tidak membongkar susunan batu-batunya. Dinding lorong dan pagar langkan yang miring dibiarkan tetap miring. Pada beberapa tempat di pasang kayu penyangga, dan pagar langkan yang dipindahkan dari posisinya aslinya untuk mengurangi beban. Van Erp menyadari sepenuhnya bahwa kemiringan-kemiringan yang terjadi adalah karena pengaruh air yang masuk ke dalam struktur bukit sehingga tanah dasarnya menjadi tidak stabil. Sehingga berbagai upaya dilakukan untuk meminimalisasi penetrasi air ke dalam struktur batu penyusun candi. Cara yang paling menonjol adalah pemasangan mortar pada sela-sela batu (nat) di hampir semua lantai. Demikian juga pada bagian Rupadhatu, lantai lorong yang tidak rata diratakan dengan tanah urug dan lapisan batu-batu yang natnya terbuka diisi dengan mortar.

c. Pembenahan selasar

Pembenahan pada selasar dilakukan dengan menyusun kembali batu-batu yang berserakan dan memasangnya kembali dengan rapi. Nat-nat batu yang cukup lebar pada bagian ini juga di tutup dengan mortar.

Sampai sekarang hasil pemugaran van Erp pada bagian Arupadhatu dan selasar masih menunjukkan hasil yang membanggakan. Bagian teras stupa masih tetap stabil



Foto 9. Kondisi pada saat melakukan *dismantling* (pembongkaran struktur candi) untuk memperkuat struktur Candi Borobudur pada pemugaran II (1973 – 1983) oleh Pemerintah Republik Indonesia (dok:BKB).



Foto 10. Kondisi dinding tingkat III Candi Borobudur. Warna putih pada dinding relief cerita menunjukkan adanya penggaraman yang terjadi (dok:BKB).

dan hanya sedikit mendapatkan perbaikan pada pemugaran kedua. Demikian pula bagian selasar yang tidak banyak diperbaiki pada pemugaran kedua masih terlihat cukup baik, hanya beberapa bagian yang menunjukkan adanya deformasi. Namun demikian bagian Rupadhatu yang tidak dibenahi secara total mengalami kerusakan lebih lanjut, yang kemudian disempurnakan kembali pada pemugaran kedua.

B. Pemugaran II oleh Pemerintah Republik Indonesia bekerjasama dengan UNESCO (1973 – 1983)

Pemugaran kedua difokuskan pada penanganan bagian Rupadhatu. Pembongkaran total dilakukan untuk membersihkan batu-batu, dan memasang struktur penguat sebagai dasar dinding lorong. Secara garis besar, pemugaran kedua meliputi pekerjaan-pekerjaan sebagai berikut.

- Pembongkaran total dinding lorong dan pagar langkan hingga dasar lantai. Batu-batu yang dibongkar ditandai terlebih dahulu dan ditempatkan pada palet yang diregistrasi agar dapat dikembalikan ke posisi semula.
- Batu-batu yang telah dibongkar dibawa ke workshop untuk dikonservasi. Konservasi meliputi pembersihan, perbaikan (injeksi retakan dan penyambungan yang pecah), serta *treatment* dengan bahan kimia konservan.
- Pada bagian yang telah dibongkar dipersiapkan lantai kerja untuk pembuatan lapisan beton bertulang. Selanjutnya beton bertulang ditempatkan pada lantai kerja ini sesuai tahapan konstruksi beton bertulang. Lapisan beton bertulang nantinya juga akan berfungsi sebagai drainase, sehingga perlu dibuat saluran-saluran drainase antar lantai.
- Setelah beton terpasang, batu-batu yang dibongkar di pasang kembali ke tempat semula. Pada saat pemasangan kembali ini juga di pasang lapisan kedap

air di belakang batu-batu kulit (relief) yang disebut sebagai layer B. Pada bagian bawah dan atas dinding di pasang lapisan timbal (lead) yang terutama berfungsi untuk pemerata beban dan untuk meminimalkan retakan akibat permukaan batu yang tidak rata.

- Pada bagian lantai di pasang dua lapis batu di atas lapisan beton. Bagian bawah dipasang dengan sela yang cukup untuk aliran air, dan bagian atas rapat sekaligus sebagai lantai lorong.

Permasalahan berikutnya yang masih dihadapi Candi Borobudur adalah masih terjadinya pelapukan. Pelapukan yang paling dominan dan terus terjadi adalah penggaraman (*efflorescence*). Penggaraman telah terjadi sebelum pemugaran kedua, dan hingga saat ini masih terjadi. Berbagai faktor terus di kaji untuk mencari penanganan terbaik dan komperhensif untuk menghentikan proses terjadinya endapan garam sekaligus membersihkan endapan yang telah timbul.

Mortar diduga sebagai faktor yang turut mempengaruhi terjadinya endapan garam. Baik mortar yang digunakan pada pemugaran pertama, maupun mortar modern yaitu dalam matriks beton pada pemugaran kedua. Pengaruh beton sebenarnya telah diperhitungkan dengan pemasangan layer B sebagai pelindung, namun pada beberapa tempat masih terjadi kebocoran sehingga perlu dilakukan perbaikan.

Seperti yang telah disampaikan di atas, bahwa kondisi nat yang terbuka berpeluang mempercepat kerusakan pada batu candi. Hal ini dikarenakan penetrasi air yang masuk pada struktur batu candi. Sehingga dalam kaitannya dengan nat-nat pada selasar yang masih terbuka perlu ditindaklanjuti dengan menutupnya. Selain itu nat pada selasar yang masih terbuka juga berpeluang menyebabkan penggaraman pada dinding selasar Candi Borobudur.

III. METODE

Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan kajian ini diperlukan metode kajian yang komperhensif dan aplikatif. Metode tersebut akan menjadi arah pada pelaksanaan kajian ini. Sebelum dilaksanakannya kajian maka pertama-tama yang harus dilakukan adalah penelusuran literatur. Selanjutnya adalah melakukan observasi lapangan dan pelaksanaan. Sementara itu analisa data baik secara kimia dan fisik merupakan tahapan terakhir pada kajian ini.

Metode kajian dilakukan oleh tim kajian adalah sebagai berikut:

1. Observasi lapangan

Observasi lapangan dilakukan untuk menentukan lokasi penelitian. Sebelum dilakukan observasi lapangan terlebih dahulu dilakukan telaah terhadap gambar kerja yang berhubungan dengan konstruksi selasar Candi Borobudur. Setelah ini kemudian dilakukan observasi lapangan dengan melihat kondisi permukaan selasar. Observasi pada selasar ditekankan pada permukaan selasar yang nat-natnya (penghubung antar batunya) terbuka. Nat yang terbuka mengindikasikan bahwa di bawah struktur batu pada selasar Candi Borobudur dijumpai saluran drainase yang terbuat dari beton. Saluran tersebut merupakan bagian dari sistem drainase candi yang di buat pada masa pemugaran II oleh pemerintah Indonesia yang bekerja sama dengan UNESCO. Selain dilakukan pengamatan pada nat-nat candi yang terbuka pada selasar, juga dilakukan observasi pada bagian undag candi. Hal ini dikarenakan nat yang terbuka menyebabkan air hujan masuk ke dalam struktur selasar candi dan untuk selanjutnya menyebabkan kebocoran pada dinding undag. Kebocoran yang terjadi pada undag candi dikemudian hari, dikhawatirkan akan menyebabkan pelapukan dan kerusakan batu penyusun struktur undag Candi Borobudur. Observasi lain yang dilakukan dikhususkan pada kondisi material nat yang saat ini masih tertutup oleh mortar tradisional yang dibuat pada saat pemugaran ke II oleh van Erp di tahun 1907 – 1911. Material yang menjadi isian nat saat ini diketahui memiliki komposisi yang tidak sama, walaupun pada prinsipnya bahan yang digunakan adalah sama. Namun demikian komposisinya memiliki perbedaan.

2. Pelaksanaan

a. Pembongkaran

Pembongkaran pada selasar dimaksudkan untuk mengetahui kondisi saluran drainase di dalam struktur selasar Candi Borobudur. Selain itu pembongkaran dilakukan untuk mengambil sampel material, baik batu

maupun tanah pada lokasi pembongkaran. Pengambilan sampel selanjutnya akan dianalisis secara kimia dan fisik. Pembongkaran dilakukan dengan memindahkan batu penyusun struktur selasar Candi Borobudur satu demi satu. Kemudian batu yang dipindahkan ditata sesuai dengan kondisi aslinya pada saat dibongkar. Hal ini untuk memudahkan pada proses pengembalian kembali pada posisi aslinya. Pembongkaran pada selasar Candi Borobudur dilakukan dengan metode purposive sampling yaitu pada lokasi yang diindikasikan mengalami kerusakan struktur di sekitar saluran drainase.

b. Pengambilan Sampel

Sampel yang diambil adalah sampel batu penyusun struktur selasar Candi Borobudur. Sampel batu diambil setelah pembongkaran selasar mencapai saluran drainase yang terbuat dari beton. Setelah mencapai saluran drainase diambil sampel dengan memotong batu yang berada di atas dan di bawah saluran. Batu yang diambil sebagai sampel akan diuji secara fisik maupun kimia. Hal ini dikarenakan batu yang berada di atas maupun di bawah saluran drainase, diindikasikan mengalami kerusakan dan pelapukan. Sehingga perlu dilakukan uji laboratorium terhadap kondisi materialnya. Selain sampel batu, juga diambil sampel yang berupa tanah dan mortar yang masih dijumpai di sekitar lokasi pembongkaran. Sampel tanah yang diambil berasal dari hasil pembongkaran batu lapis satu. Tanah tersebut adalah tanah yang berada pada permukaan batu lapis dua. Pengambilan sampel tanah dimaksudkan untuk mengetahui kandungan unsur tanah tersebut. Hal ini dikarenakan tanah tersebut terkena air hujan secara langsung karena kondisi natnya terbuka. Selain sampel batu dan tanah juga diambil sampel mortar tradisional. Sampel mortar diambil di sekitar lokasi pembongkaran. Mortar tersebut adalah mortar yang digunakan van Erp untuk memperkuat struktur batu penyusun selasar Candi Borobudur.

c. Analisa Laboratorium

Setelah sampel yang dibutuhkan telah diambil pada saat pembongkaran selasar Candi Borobudur. Selanjutnya adalah melakukan analisa sampel batu, tanah, dan mortar tradisional. Pada sampel batu dilakukan analisa fisik menyangkut porositas, densitas, berat jenis, kadar air, kuat tekan, kekerasan, dan warna mineral. Selain itu juga dilakukan analisa petrografi. Kesemua analisa fisik tersebut dilakukan di laboratorium Balai Konservasi Borobudur, terkecuali pada analisa petrografi yang dilakukan di laboratorium geologi optik di Universitas Gadjah Mada. Hal ini dikarenakan pada laboratorium Balai Konservasi

Peninggalan Borobudur belum mempunyai alat untuk membuat sayatan tipis. Pada sampel tanah dilakukan analisa kimia yang meliputi analisa tanah terhadap unsur kalsium, magnesium, besi, aluminium, sulfat, klorida, silikat, dan karbonat. Pada sampel berupa mortar tradisional dianalisa komposisinya material penyusun mortar tersebut. Analisa terhadap mortar tradisional sangat penting dilakukan untuk mengetahui komposisinya. Setelah didapatkan komposisinya maka diharapkan dapat dibuat kembali mortar tradisional untuk menutup nat-nat batu yang terbuka pada selasar Candi Borobudur.

3. Pembuatan Mortar Tradisional

Setelah mortar tradisional yang berada di sekitar lokasi pembongkaran dianalisa dan diketahui komposisinya. Proses selanjutnya adalah pembuatan kembali mortar tradisional sesuai dengan komposisinya. Mortar tersebut diharapkan dapat digunakan untuk menutup nat selasar yang terbuka. Namun demikian sebelum diaplikasikan mortar tersebut harus dianalisa supaya penggunaannya tidak membahayakan kelestarian Candi Borobudur maupun mengurangi nilai historisnya.

4. Analisa dan Evaluasi Data

Analisa dan evaluasi data merupakan tahapan terakhir dimana setelah dilakukan berbagai analisa baik fisik maupun kimia, kemudian dapat diketahui kondisi material sampel. Kondisi material pada sampel berkaitan erat dengan langkah-langkah penanganan nat. Sehingga pada akhirnya akan mendapatkan

kesimpulan bahwa kondisi nat-nat batu yang terbuka harus ditutup menggunakan bahan yang aman bagi kelestarian Candi Borobudur. Hal ini penting untuk menghambat pengaruh kerusakan pada undag dan selasar Candi Borobudur.

IV. PEMBAHASAN

A. Pembongkaran Selasar Candi Borobudur

Penentuan lokasi pembongkaran dilakukan berdasarkan hasil observasi sebelumnya. Lokasi pembongkaran dipilih berdasarkan kriteria atau kondisi sebagai berikut :

1. Kondisi nat-nat batunya terbuka
2. Mortar pada permukaan selasar telah dikelupas (pada pemugaran II)
3. Didalam struktur selasar dijumpai saluran drainase yang terbuat dari beton
4. Posisi saluran drainase mudah dicapai, agar memudahkan dalam pembongkaran selasar
5. Lokasi pembongkaran tidak mengganggu aktifitas kunjungan wisata di Candi Borobudur
6. Apabila dilihat pada dinding undag yang berada di bawah selasar dengan kondisi batu yang terbuka, dijumpai adanya rembesan air
7. Kondisi pembongkaran selasar tidak membahayakan kondisi struktur selasar Candi Borobudur

Sebelum melakukan pembongkaran, disiapkan perlengkapan dan peralatan pendukung teknis dan dokumentasi. Perlengkapan dan peralatan teknis berguna untuk melakukan pembongkaran dan pengukuran pada saat pembongkaran. Adapun peralatan dokumentasi digunakan untuk mendokumentasikan seluruh kegiatan pembongkaran. Dokumentasi sangat penting dikarenakan kegiatan pembongkaran batu-batu penyusun selasar harus

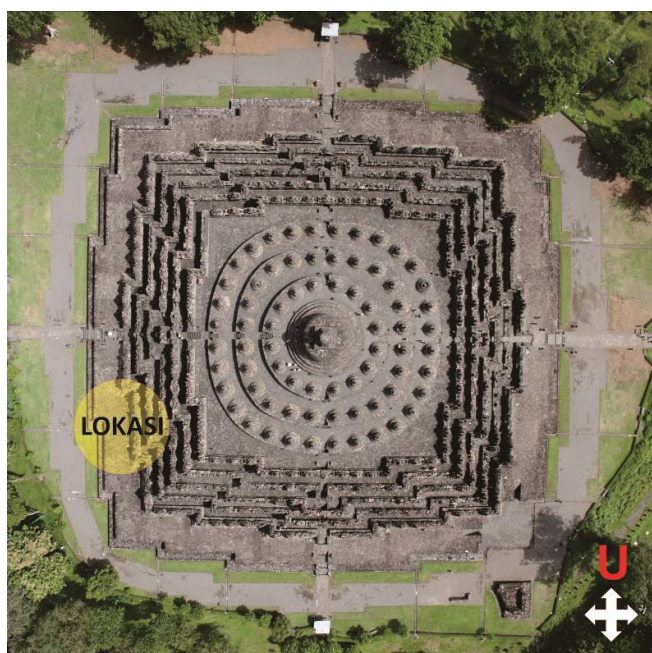


Foto 11. Lokasi pembongkaran pada selasar sisi Barat Daya Candi Borobudur (dok:BKB).

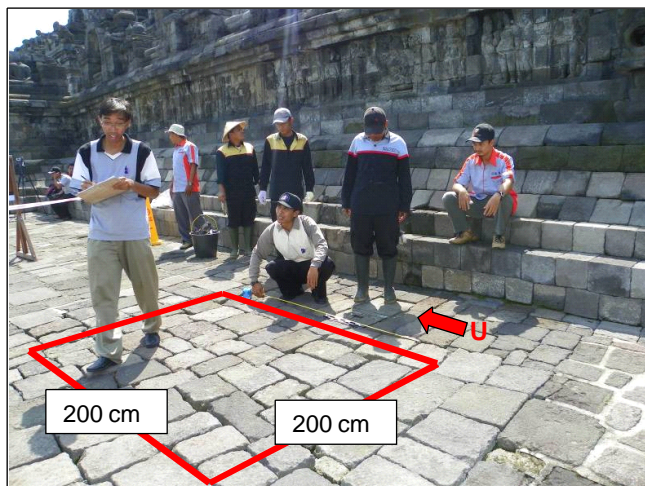


Foto 12. Pembuatan lay-out kotak pembongkaran pada sisi Barat Daya Candi Borobudur (dok:BKB).

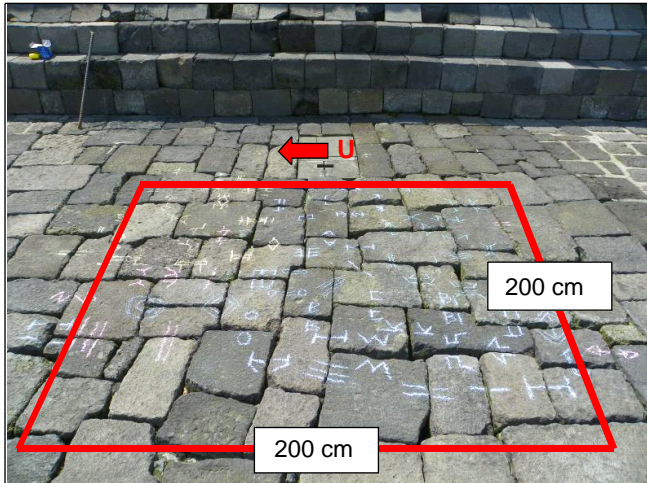


Foto 13. Kodifikasi batu penyusun struktur selasar Candi Borobudur sisi Barat Daya sebelum dibongkar (dok:BKB).



Foto 14. Pembongkaran batu penyusun struktur selasar Candi Borobudur dimulai dengan mengambil satu buah batu (dok:BKB).

dikembalikan sesuai dengan kondisi aslinya sebelum di bongkar. Selain dokumentasi dalam bentuk verbal, juga dilakukan dokumentasi dalam bentuk piktorial maupun audiovisual. Sementara itu, dokumentasi audiovisual digunakan untuk membuat film singkat tidak hanya digunakan saat pembongkaran selasar. Tetapi juga pada keseluruhan jalannya kajian penanganan nat, termasuk didalamnya pada saat analisa laboratorium dan pembuatan mortar tradisional.

Pembongkaran pada struktur Candi Borobudur dilakukan berdasarkan tahapan-tahapan sebagai berikut :

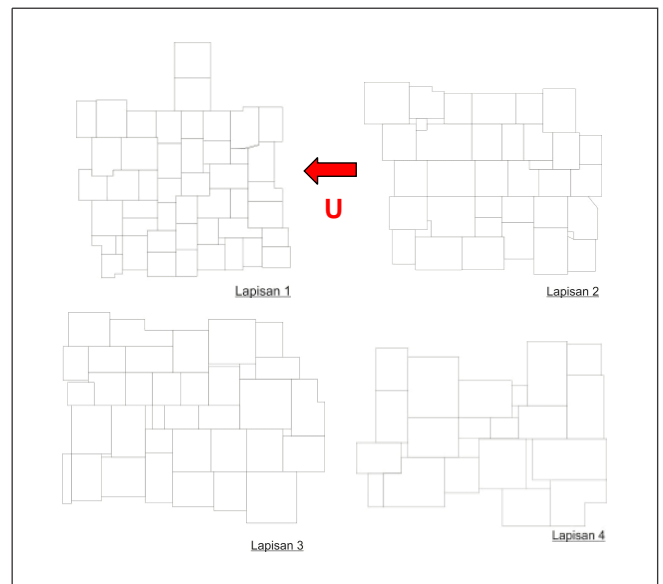
1. Tahap I, penentuan lokasi dan pembuatan *lay-out* lokasi pembongkaran.
2. Tahap II, kodifikasi batu-batu pada permukaan selasar.
3. Tahap III, Pembongkaran batu-batu penyusun struktur selasar Candi Borobudur.

- Pembongkaran batu lapis 1

Pembongkaran dilakukan dengan pengangkatan batu satu demi satu dari struktur selasar untuk kemudian dilakukan penyusunan kembali, tidak jauh dari lokasi pembongkaran untuk memudahkan proses pemasangan kembali. Lapis batu pertama ketebalannya mencapai 25-30 cm. Setelah batu lapis pertama diangkat pada permukaan batu lapis 2 dijumpai tanah uruk berwarna coklat kehitaman. Kondisi tanah urug tersebut lembab sehingga bila dipegang akan terasa basah di tangan. Tanah tersebut bercampur dengan debu vulkanik dari erupsi Merapi. Selain debu vulkanik juga dijumpai sampah padat berupa bungkus permen dan puntung rokok. Sampah padat tersebut bercampur dengan tanah.

- Pembongkaran batu lapis 2

Pembongkaran dilakukan dengan pengangkatan batu satu demi satu dari struktur selasar untuk



Gambar 1, 2, 3, 4. Kondisi batu penyusun struktur selasar yang di bongkar, di susun kembali sesuai kondisi aslinya untuk memudahkan proses pengembalian (dok:BKB).

kemudian dilakukan penyusunan kembali, tidak jauh dari lokasi pembongkaran untuk memudahkan proses pemasangan kembali. Lapis batu pertama ketebalannya mencapai 25-30 cm. Setelah batu lapis kedua diangkat pada permukaan batu lapis 3 dijumpai tanah urug berwarna coklat kehitaman. Kondisi tanah urug tersebut lembab sehingga bila dipegang akan terasa basah di tangan. Tanah urug tersebut bercampur dengan tatal batu dan kerikil. Tanah tersebut bercampur dengan debu vulkanik dari erupsi Merapi. Selain debu vulkanik juga dijumpai sampah padat berupa puntung rokok.

- Pembongkaran batu lapis 3

Pembongkaran dilakukan dengan pengangkatan batu satu demi satu dari struktur selasar untuk



Foto 15. Sampel batu di sekitar saluran drainase yang diambil untuk dianalisa secara fisik materialnya (dok:BKB).



Foto 16. Sampel tanah di sekitar saluran drainase yang diambil untuk dianalisa secara kimia (dok:BKB).

kemudian dilakukan penyusunan kembali, tidak jauh dari lokasi pembongkaran untuk memudahkan proses pemasangan kembali. Lapis batu pertama ketebalannya mencapai 25-30 cm. Setelah batu lapis ketiga diangkat pada permukaan batu lapis 4 dijumpai tanah urug berwarna coklat kehitaman. Kondisi tanah urug tersebut lembab sehingga bila dipegang akan terasa basah di tangan. Tanah urug tersebut bercampur dengan tatal batu dan kerikil. Tanah tersebut bercampur dengan debu vulkanik dari erupsi Merapi. Pada permukaan batu lapis 4 kondisi nat-nat batunya sangat renggang.

- **Pembongkaran batu lapis 4**

Pembongkaran dilakukan dengan pengangkatan batu satu demi satu dari struktur selasar untuk kemudian dilakukan penyusunan kembali, tidak jauh dari lokasi pembongkaran untuk memudahkan proses pemasangan kembali. Lapis batu pertama ketebalannya mencapai 25-30 cm. Setelah batu lapis keempat diangkat pada permukaan batu lapis 5 dijumpai tanah urug berwarna coklat kehitaman. Kondisi tanah urug tersebut lembab sehingga bila dipegang akan terasa basah di tangan. Tanah urug tersebut bercampur dengan tatal batu dan kerikil. Tanah tersebut bercampur dengan debu vulkanik dari erupsi Merapi. Selain debu vulkanik juga dijumpai sampah padat berupa puntung rokok. Sampah pada yang dijumpai berupa plastik dan bungkus permen. Setelah batu lapis 4 dibongkar maka mulai nampak bagian atas saluran drainase.

- **Pembongkaran batu lapis 5 – 7**

Pembongkaran batu yang dilakukan pada lapis 4 – 7 tidak dilakukan secara menyeluruh seperti pada lapis 1 – 4 hal ini dikarenakan saluran drainase sudah bisa diidentifikasi. Sehingga hanya batu yang berada di dekat dan menempel pada saluran

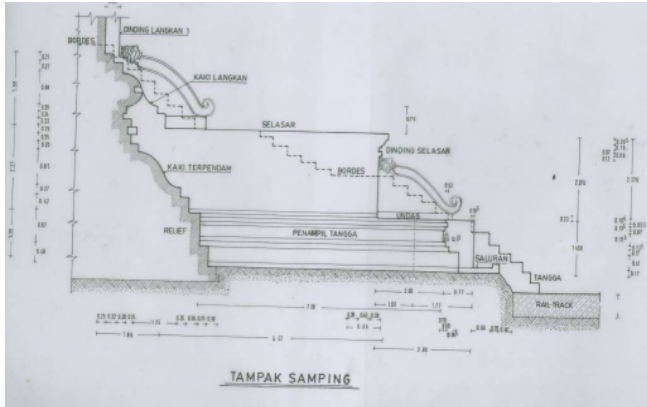
drainase saja yang diangkat. Pada pembongkaran batu lapis 5 – 7 tersebut juga dijumpai kondisi tanah seperti pada lapisan di atasnya. Pengambilan sampel dilakukan dengan mengambil batu yang berada di sekitar saluran atau batu yang posisinya berada di atas dan di samping saluran drainase.

- Tahap IV, sampel yang diambil adalah sampel tanah dan batu. Pengambilan sampel dilakukan pada lapisan tanah di atas permukaan batu layer 2. Selain itu sampel batu diambil setelah pembongkaran selasar mencapai saluran drainase. Batu yang digunakan sebagai sampel adalah batu yang berada di sekitar saluran drainase.
- Tahap V, pengembalian struktur batu selasar yang di bongkar seperti posisi sebelum dibongkar.

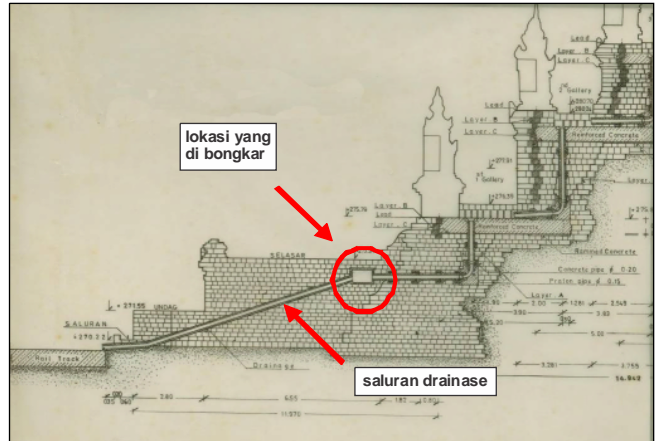
B. Kondisi Saluran Drainase

Saluran drainase Candi Borobudur merupakan sebuah sistem sirkulasi air dari candi yang kemudian dialirkan ke bawah bukit. Sistem drainase ini dibangun pada pemugaran yang ke-2 yaitu tahun (1973 – 1983). Untuk menanggulangi dampak kerusakan yang disebabkan oleh air, maka saluran drainase dibuat dari bagian Arupadhatu di tingkat 7 hingga bagian Kamadhatu di tingkat 1. Fungsi utama dari saluran drainase adalah mengalir air dari atas candi ke bak-bak penampungan di bawah bukit. Dikarenakan arsitektural Candi Borobudur yang tidak mempunyai atap maka sirkulasi air menjadi hal yang harus dipertimbangkan secara khusus.

Saluran drainase pada Candi Borobudur di satu sisi merupakan solusi yang tepat untuk menanggulangi pengaruh air. Namun di sisi lain merupakan hal yang harus diwaspadai karena dapat mengancam kelestarian khususnya pada Candi Borobudur. Hal ini bisa dikarenakan kondisi material saluran drainase maupun karena cara mengaplikasikannya yang kurang sesuai. Kondisi material yang digunakan untuk membuat saluran



Gambar 5. Tampak samping bagian undag dan selasar Candi Borobudur (dok:BKB).



Gambar 6. Tampak samping bagian undag dan selasar Candi Borobudur (dok:BKB).



Foto 17. Saluran drainase pada selasar Candi Borobudur, terbuat dari beton dengan bagian atas permukaannya dilapisi dengan araldite (dok:BKB).



Foto 18. Pada bagian bawah saluran drainase dijumpai pelandas yang terbuat dari beton (dok:BKB).

drainase mempunyai masa lelah material sehingga dikhawatirkan apabila sudah digunakan dalam waktu yang lama akan terjadi kerusakan. Selain itu, cara yang kurang sesuai atau kurang cermat dalam mengaplikasikan material saluran drainase juga dapat menimbulkan masalah-masalah pelestarian yang dapat muncul di kemudian hari. Berbagai masalah-masalah yang dapat muncul di antaranya adalah terjadinya kebocoran pada dinding. Selain itu masalah yang dikhawatirkan dapat muncul dan susah ditanggulangi adalah masalah penggaraman. Hal ini dikarenakan adanya material garam yang terlarut dari material semen pada saluran drainase.

Saluran drainase pada sisi Barat Daya dapat dijumpai di dalam struktur selasar Candi Borobudur setelah membongkar batu penyusun struktur selasar pada lapis ke-5. Saluran drainase tersebut berbentuk persegi, pada bagian atasnya saluran dilapisi dengan araldite sebagai lapisan kedap air. Namun demikian pada bagian bawah saluran drainase tidak dilapisi dengan araldite. Selain itu bagian bawah saluran drainase pada bagian yang menumpu pada batu dilapisi dengan mortar yang terbuat

dari semen yang dicampur dengan pasir dan batu. Secara umum material yang melapisi saluran drainase terbuat dari beton.

Saluran drainase seperti pada foto di atas, berbentuk persegi dan terbuat dari beton dengan bagian atas dilapisi menggunakan araldite. Ketebalan saluran mencapai 30 cm dan kedalaman saluran drainase dari permukaan selasar mencapai 120 cm. Sebagai alat kontrol menyangkut berfungsinya saluran tersebut, pada permukaan selasar dijumpai saluran vertikal yang bisa di buka pada bagian atasnya. Semakin menjauhi pusat candi kondisi saluran drainase semakin miring ke bawah. Hal ini untuk memudahkan aliran air keluar dari candi. Apabila dicermati pada bagian bawah saluran drainase dijumpai pelandas yang terbuat dari beton. Pelandas tersebut merupakan titik tumpuan saluran drainase pada permukaan atas batu penyusun struktur Candi Borobudur. pada bagian pelandas tersebut tidak dilapisi menggunakan bahan kedap air maupun araldite. Sehingga pelandas langsung menempel pada permukaan batu.

Tabel 1. Hasil analisa kimia sampel tanah pada lokasi pembongkaran selasar Candi Borobudur

JENIS SAMPEL	PARAMETER (%)							
	Ca	Mg	Fe	Al	SO ₄	Cl	SiO ₂	CO ₃
Tanah di lapis 1 (di bawah batu lapis I)	1,6032	3,5250	5,0265	14,4073	0,2882	1,7150	25,4700	2,0591
Tanah di samping pipa drainase	1,6834	1,9286	6,2552	12,7669	2,4207	1,4350	23,9400	1,8273
Tanah di atas pipa drainase	1,1222	2,3824	5,4733	12,6158	1,8828	1,0150	23,3400	1,7727

Keterangan:

Ca	: Kalsium	SO ₄	: Sulfat
Mg	: Magnesium	Cl	: Klorida
Fe	: Besi	SiO ₂	: Silikat
Al	: Aluminium	CO ₃	: Karbonat

Tabel 2. Hasil analisa kimia sampel mortar pada lokasi pembongkaran selasar Candi Borobudur

JENIS SAMPEL	PARAMETER (%)							
	Ca	Mg	Fe	Al	SO ₄	Cl	SiO ₂	CO ₃
Sampel mortar pd lubang saluran air atas C.Borobudur	7,4549	8,5571	3,4850	10,2956	3,4582	0,7560	25,5700	4,6636
Sampel semen/mortar pd bawah pipa C.Borobudur	5,5310	6,3206	2,6808	8,9034	4,1498	0,7420	34,1100	6,0000

Keterangan:

Ca	: Kalsium	SO ₄	: Sulfat
Mg	: Magnesium	Cl	: Klorida
Fe	: Besi	SiO ₂	: Silikat
Al	: Aluminium	CO ₃	: Karbonat

C. Analisa Laboratorium

1. Analisa kimia

Analisa kimia dilakukan pada:

- Sampel mortar Van Erp di sekitar lubang saluran drainase pada permukaan selasar.
- Sampel tanah pada nat-nat permukaan selasar.
- Sampel semen dibawah saluran drainase.
- Sampel tanah di sekitar saluran drainase.
- Sampel tanah di atas saluran drainase.
- Sampel tanah di samping saluran drainase.

Analisa kimia terhadap material tersebut meliputi analisa kandungan kimia sampel yang berupa kalsium, magnesium, besi, aluminium, sulfat, klorida, silikat, dan karbonat.

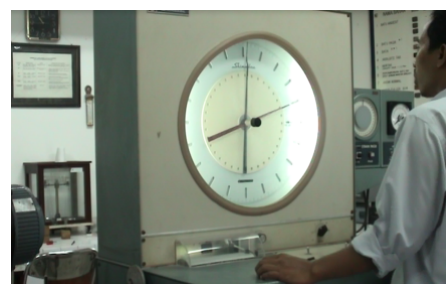
Dari tabel 1 di atas, terlihat bahwa kadar kalsium sampel tanah di samping pipa saluran drainase lebih tinggi dibandingkan dengan sampel tanah di bawah batu lapis 1 maupun di atas pipa saluran drainase. Hal ini dikarenakan saluran drainase terbuat dari beton, sehingga air yang masuk melalui sela-sela nat selasar terbuka telah membasahi tanah di samping pipa

drainase. Sementara itu kadar kalsium pada tanah di bawah batu lapis satu dan di atas saluran drainase kadarnya lebih kecil karena penetrasi air yang masuk adalah dari atas ke bawah. Air yang merembes masuk dan mengenai saluran drainase kemudian menyebar ke tanah di sekitarnya. Dari analisis kimia ketiga sampel tanah tersebut ada unsur yang dominan dengan nilai yang sama yaitu unsur silikat yang nilainya lebih kurang 23-25 %. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa saluran drainase yang terbuat dari beton menyebabkan tanah di samping saluran menjadi tinggi kalsiumnya. Hal ini tentu saja berbahaya bagi batu andesit penyusun struktur candi yang berada di samping saluran drainase. Kadar kalsium dan sifat larutan basa menyebabkan batu tersebut mempunyai tingkat pelapukan yang lebih tinggi.

Dari tabel 2 di atas, terlihat bahwa unsur kalsium kedua sampel mortar memiliki nilai yang hampir sama. Hal ini dikarenakan kandungan terbesar dari mortar tersebut adalah semen dan pasir. Hasil analisa sampel dari tabel 2 merupakan mortar yang digunakan pada



Foto 19, 20, 21, 22. Analisa fisik yang dilakukan terhadap sampel batu andesit (dok:BKB).



Tabel 3. Hasil analisis fisik batu andesit dekat pipa saluran drainase

Sampel	Densitas (g/cm ³)	Berat Jenis	Kadar air jenuh (%)	Porositas (%)	Kuat Tekan (kg/cm ²)	Kekerasan (Skala Mohs)
Atas Pipa	1,90	2,36	10,42	19,75	155,81	5-6
Bawah Pipa	2,07	2,54	9,01	18,60	200,02	5-6

bagian mulut saluran drainase sehingga kandungan unsurnya tinggi

2. Analisa fisik

Analisa fisik dilakukan terhadap sampel berupa batu andesit, mortar tradisional, dan bata yang digunakan untuk membuat percobaan mortar tradisional. Analisa fisik terhadap material tersebut meliputi, porositas, densitas, berat jenis, kadar air, kuat tekan, kekerasan, dan warna material. Selain itu pada sampel batu juga dilakukan analisa petrografi untuk mengetahui kondisi material batu yang berada di sekitar saluran drainase. Sampel yang di ambil adalah batu andesit yang berada di atas dan di bawah saluran drainase, sedangkan pembuatan sayatan tipis (thin section) dan analisa dilakukan di laboratorium geologi optik Jurusan Teknik Geologi UGM.

Dari tabel 3 di atas, porositas batu andesit di atas pipa lebih besar daripada yang berada di bawah pipa. Hal ini dimungkinkan karena kondisi material batuan yang berbeda kualitasnya. Hal ini ditunjukkan dari nilai kuat tekan yang lebih tinggi pada sampel batu andesit di bawah pipa.

Selain analisa fisik pada sampel batu yang disekitar saluran drainase juga dilakukan analisa petrografi. Adapun hasil analisa petrografi adalah sebagai berikut :

Sampel 1 : Atas pipa drainase

Nama Batuan : Andesite (Streckeisen, 1976)

Deskripsi sayatan tipis :

Sayatan memperlihatkan tekstur *interlocking*, porfiritik, ukuran kristal <0.01-1 mm, tersusun atas fenokris dan masadasar. Fenokris berupa mineral plagioklas, hornblende, piroksen, dan mineral opak, sedangkan masadasar berupa gelas vulkanik dan plagioklas. Fenokris plagioklas, hornblende, dan piroksen telah menunjukkan kondisi terubah, tetapi bentuk dan sifat fisik kristal (warna dan belahan) masih sama. Sebagian besar kristal fenokris mengalami perubahan sifat optik (warna interferensi dan gelap/kembaran) serta sebagian batas kristalnya sudah hancur. Masadasar batuan yang berupa gelas vulkanik telah teralterasi seluruhnya, sedangkan sebagian besar masadasar yang berupa plagioklas masih asli (belum terubah). IA = 0.7.

Deskripsi komposisi :

Fenokris:

- Plagioklas (plag), ukuran kristal 0.05-1 mm, bentuk kristal subhedra, kelimpahan 35%.
- Hornblende (hbl), ukuran kristal 0.3-0.7 mm, bentuk kristal euhedra-subhedra, kelimpahan 5%.
- Piroksen (px), ukuran kristal 0.1-0.8 mm, bentuk kristal subhedra, kelimpahan 10%.
- Mineral opak (opq), ukuran kristal 0.05-0.25 mm, bentuk kristal subhedra-anhedra, kelimpahan 5%.

Masa dasar :

sampel 1

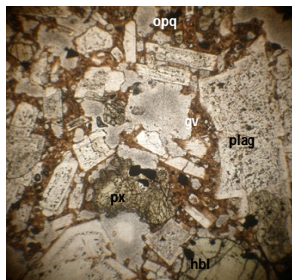
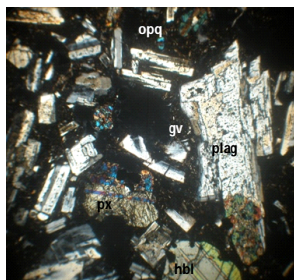


Foto 23,24. Sayatan tipis dari sampel batu yang diambil dari bagian atas saluran drainase (dok:geologi optik UGM).

sampel 2

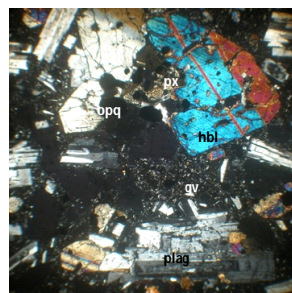
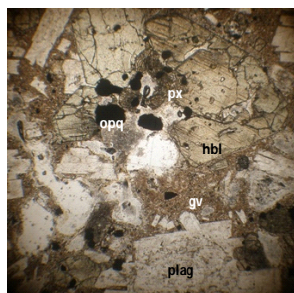


Foto 25, 26. Sayatan tipis dari sampel batu yang diambil dari bagian bawah saluran drainase (dok:geologi optik UGM).

- Plagioklas (plag), ukuran kristal 0.05-1 mm, bentuk kristal subhedra, kelimpahan 15%.
- Gelas vulkanik (vg) (?), ukuran kristal <0.01-0.03 mm, kelimpahan 30%.

Sampel 2 : Bawah pipa drainase

Nama Batuan : Andesite (Streckeisen, 1976)

Deskripsi sayatan tipis :

Sayatan memperlihatkan tekstur *interlocking*, porfiritik, ukuran kristal <0.01-1 mm, tersusun atas fenokris dan masadasar. Fenokris berupa mineral plagioklas, hornblende, piroksen, dan mineral opak, sedangkan masadasar berupa gelas vulkanik dan plagioklas. Fenokris plagioklas, hornblende, dan piroksen telah menunjukkan kondisi berubah, tetapi bentuk dan sifat fisik kristal (warna dan belahan) masih sama. Sebagian kristal fenokris mengalami perubahan sifat optik (warna interferensi dan gelap/kembaran) serta sebagian batas kristalnya sudah hancur. Masadasar batuan yang berupa gelas vulkanik telah teralterasi seluruhnya, sedangkan sebagian besar masadasar yang berupa plagioklas masih asli (belum berubah). $IA = 0.3$.

Deskripsi komposisi :

Fenokris:

- Plagioklas (plag), ukuran kristal 0.05-1 mm, bentuk kristal subhedra, kelimpahan 35%.
- Hornblende (hbl), ukuran kristal 0.3-1 mm, bentuk kristal euhedra-subhedra, kelimpahan 5%.
- Piroksen (px), ukuran kristal 0.05-0.4 mm, bentuk kristal subhedra, kelimpahan 3%.
- Mineral opak (opq), ukuran kristal 0.05-0.25 mm, bentuk kristal subhedra-anhedra, kelimpahan 5%.

Masa dasar :

- Plagioklas (plag), ukuran kristal 0.05-1 mm, bentuk kristal subhedra, kelimpahan 12%.
- Gelas vulkanik (vg) (?), ukuran kristal <0.01-0.03 mm, kelimpahan 40%.

D. Percobaan Pembuatan Mortar Tradisional

Pembuatan mortar tradisional merupakan percobaan yang dilakukan pada kajian ini. Percobaan tersebut dilakukan untuk membuat mortar yang sesuai dan dapat digunakan untuk menutup nat batu terbuka pada permukaan selasar Candi Borobudur. Mortar berfungsi untuk menutup nat selasar dan mencegah masuknya air ke dalam struktur selasar Candi Borobudur.

Hal yang diharapkan pada percobaan ini adalah berkurangnya intensitas kerusakan struktur selasar dikarenakan faktor air yang masuk melalui sela-sela nat selasar. Beberapa kerusakan yang masih terjadi dikarenakan terbukanya nat selasar adalah tumbuhnya berbagai mikroorganisme. Hal ini dikarenakan rembesan air yang masuk ke dalam struktur selasar akan berangsur-angsur keluar melalui nat-nat batu pada dinding selasar. Kondisi ini menyebabkan batu menjadi lembab, sehingga tumbuh mikroorganisme. Selain itu, penggaraman pada dinding selasar diindikasikan juga karena masuknya air hujan ke dalam struktur dan membasahi saluran drainase yang terbuat dari beton.

Percobaan pembuatan mortar dilakukan untuk mendapatkan mortar yang sesuai dan dapat digunakan untuk menutup nat batu terbuka pada permukaan selasar Candi Borobudur. Mortar berfungsi untuk menutup nat selasar dan mencegah masuknya air ke dalam struktur selasar Candi Borobudur. Bahan yang digunakan adalah bahan yang aman dan tidak menimbulkan efek samping pada batu andesit penyusun struktur Candi Borobudur.

Pembuatan mortar tradisional didasarkan pada kajian Balai Konservasi Borobudur yang telah dilakukan tahun 2008. Pada kajian tersebut dapat diidentifikasi komposisi mortar tradisional yang dibuat oleh van Erp pada pemugaran yang I. Sehingga berdasarkan kajian tersebut komposisi yang digunakan adalah pasir halus, pasir kasar, kerikil, bubukan bata, dan kapur padam.

Pada percobaan kali ini dibuat dua buah mortar

dengan bahan yang sama akan tetapi menggunakan komposisi yang berbeda. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan kualitas mortar yang sesuai dan tidak membahayakan kelestarian candi. Bahan yang digunakan untuk percobaan pembuatan mortar sebagai berikut :

- Pasir kasar
- Pasir halus
- Bubukan Bata
- Gamping
- Agregat (kerikil)

Ukuran butir :

- Pasir kasar (≥ 60 mesh)
- Pasir halus (≥ 100 mesh)
- Bubukan bata (≥ 100 mesh)
- Gamping (≥ 100 mesh)

Sedangkan untuk komposisinya adalah sebagai berikut :

MORTAR I :

Komposisi Perbandingan

- Pasir kasar.....1
- Pasir halus.....1
- Bubukan bata.....1
- Agregat.....2
- Gamping.....1
- Air

MORTAR II

Komposisi Perbandingan

- Pasir halus.....2
- Bubukan bata.....1
- Agregat.....2
- Gamping.....1
- Air

Dalam pembuatan mortar percobaan ini langkah-langkah pengerjaannya adalah sebagai berikut :

- Menyiapkan bahan, dalam menyiapkan bahan diperlukan ketepatan melakukan pengukuran komposisi bahan menyangkut ukuran butir dan berat perbandingan antar bahan. Perbandingan komposisi dan ukuran butir yang sesuai akan menghasilkan mortar yang sesuai dengan yang diharapkan. Untuk mendapatkan ukuran butir yang sesuai digunakan peralatan berupa lumpang dan penumbuk dari bahan keramik. Setelah semua bahan di tumbuk dan dihaluskan langkah selanjutnya adalah mengayak semua bahan sesuai ukuran butir yang dikehendaki.
- Menakar bahan sesuai dengan komposisi yang dikehendaki. Setelah semua bahan disiapkan maka langkah selanjutnya adalah menakar bahan sesuai dengan komposisinya. Pada saat menakar diperlukan alat ukur berupa timbangan digital dan gelas penakar untuk memudahkan pada tahanan ini.
- Mencampur bahan yang telah ditakar untuk



Foto 27, 28, 29, 30. Mempersiapkan bahan pembuatan mortar dengan menumbuk dan mengayak bahan sesuai ukuran butir yang dikehendaki (dok:BKB).



Foto 31, 32. Menakar bahan sesuai dengan komposisi yang dikehendaki menggunakan timbangan digital (dok:BKB).



Foto no.33. Mencampur bahan mortar sesuai dengan komposisinya pada wadah dengan dicampur air dan diaduk hingga kalis (dok:BKB).



Foto 34. Bahan mortar yang sudah dicampur dan diaduk hingga kalis kemudian dimasukkan kedalam cetakan berbentuk silinder yang terbuat dari pipa PVC (dok:BKB).



Foto 35. Setelah dimasukkan ke dalam cetakan mortar kemudian dikeringkan dengan diletakkan pada tempat yang teduh dengan suhu kamar (dok:BKB).



Foto 36, 37, 38, 39. Analisa fisik terhadap sampel mortar percobaan I dan II beserta analisa material bata yang digunakan sebagai komposisi mortar (dok:BKB).

dimasukkan ke dalam cetakan. Pada proses ini diperlukan wadah untuk mencampur semua bahan untuk selanjutnya dituangkan ke dalam cetakan berbentuk silinder yang terbuat dari pipa PVC. Ukuran cetakan mortar berbentuk silinder mempunyai diameter 4 cm dengan tinggi 8 cm. Sebelum dituangkan ke dalam cetakan semua bahan tersebut dicampurkan dengan menambahkan air dan diaduk hingga kalis. Pencetakan sampel percobaan mortar ke dalam wadah berbentuk silinder dimaksudkan untuk mempermudah saat analisa sampel.

- Proses pengeringan, setelah semua bahan mortar dimasukkan ke dalam cetakan langkah selanjutnya adalah pengeringan. Pada proses pengeringan, yang perlu dilakukan hanyalah membiarkan mortar dalam cetakan selama lebih kurang 48 jam pada kondisi teduh dengan suhu kamar. Hal ini dikarenakan proses pengeringan yang terlalu cepat akan menyebabkan mortar menjadi mudah retak atau pecah.

Percobaan pembuatan mortar yang telah diselesaikan tidak langsung diaplikasikan pada Candi Borobudur. Akan tetapi dilakukan analisa terlebih dahulu. Hal ini untuk menghindari adanya maupun kerusakan material pada Candi Borobudur apabila dikemudian hari

Tabel 4. Hasil analisis fisik mortar

Sampel	Densitas (g/cm ³)	Berat Jenis	Kadar air natural (%)	Kadar air jenuh (%)	Porositas (%)	Kuat Tekan (kg/cm ²)
Mortar I	1,67	2,88	2,36	25,38	42,27	20,85
Mortar II	1,60	3,04	14,18	29,24	90,66	19,55

ditemukan kesalahan pada komposisi bahan mortar.

Selain melakukan analisa fisik terhadap sampel mortar percobaan I dan II, juga dilakukan analisa fisik terhadap material bata yang digunakan sebagai komposisi mortar. Analisa fisik terhadap material bata sangat penting karena akan menentukan kekuatan dan daya tahan mortar tersebut.

Dari tabel 4 terlihat bahwa porositas mortar II lebih besar. Sehingga kuat tekannya lebih kecil dibandingkan mortar I.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Pada kajian ini telah dilakukan berbagai aktifitas seperti tersebut di atas, di antaranya berupa pembongkaran struktur selasar Candi Borobudur, pengambilan sampel, analisa fisik maupun kimia dan percobaan pembuatan mortar tradisional. Berdasarkan hasil pengamatan dan analisa fisik maupun kimia yang telah dilakukan didapatkan hasil bahwa terjadi pelapukan pada batu penyusun struktur selasar Candi Borobudur. Sedangkan pada percobaan pembuatan mortar tradisional masih dalam tahap awal. Sehingga masih berkembang untuk mendapatkan komposisi yang tepat dan aman bagi batu penyusun struktur selasar Candi Borobudur.

Kesimpulan

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, maka disimpulkan bahwa terbukanya nat pada selasar Candi Borobudur menyebabkan terjadinya penetrasi air yang membawa kotoran-kotoran kedalam struktur selasar Candi Borobudur. Hal ini dapat dibuktikan dengan dijumpainya sampah dan debu vulkanik hingga pada batu lapis 4 pada struktur selasar. Penetrasi air yang membawa kotoran tersebut akan mempercepat terjadinya pelapukan pada batu penyusun struktur selasar. Selanjutnya penetrasi air kedalam selasar candi juga dianggap berbahaya, dikarenakan adanya senyawa-senyawa kimia dari semen di bagian atas candi yang dapat terbawa bersama air dapat masuk ke dalam struktur selasar.

Penetrasi air melalui nat selasar yang terbuka ke dalam struktur selasar juga menyebabkan air dari dalam selasar merembes keluar melalui dinding selasar. Hal ini dapat menyebabkan tumbuhnya berbagai mikroorganisme dan munculnya pengkaraman pada dinding selasar.

Pembongkaran selasar hingga mencapai saluran drainase merupakan salah satu usaha untuk mengetahui kondisi batu di dalam struktur selasar. Selain itu pembongkaran juga bertujuan mengetahui ada tidaknya pengaruh yang ditimbulkan dari penetrasi air ke dalam struktur selasar yang membasahi saluran drainase yang terbuat dari beton. Dari hasil analisa laboratorium dari sampel batu yang diambil diketahui bahwa pelapukan batu juga terjadi di sekitar saluran drainase, namun kondisi tersebut tidak begitu parah. Hal ini dikarenakan saluran drainase yang terbuat dari beton tersebut telah dilapisi menggunakan araldite sebagai lapisan kedap air. Lapisan araldite pada saluran drainase dijumpai pada permukaan atas saluran, sedangkan bagian bawah atau landasannya tidak dilapisi araldite.

Pada percobaan pembuatan mortar tradisional untuk menutup nat selasar yang terbuka dibuat berdasarkan komposisi mortar Van Erp yang telah diteliti sebelumnya. Namun demikian hasil percobaan pembuatan mortar yang dilakukan pada kajian ini dinilai belum sesuai. Hal ini bisa dilihat dari analisa fisik terhadap sampel mortar percobaan. Kekuatan dan ketahanannya belum sesuai dengan kondisi saat ini.

B. Rekomendasi

Sedangkan berdasarkan kesimpulan di atas maka rekomendasi yang dapat dihasilkan adalah penutupan pada nat selasar yang terbuka harus dilakukan dengan segera. Hal ini dikarenakan nat yang terbuka menjadi tempat masuknya air ke dalam struktur selasar Candi Borobudur. Penetrasi air ke dalam selasar melalui nat yang terbuka tidak bisa disepelekan. Berdasarkan hasil pembongkaran selasar hingga mencapai saluran drainase, disimpulkan bahwa air yang masuk ke dalam selasar membawa kotoran-kotoran yang dapat mempercepat pelapukan dan kerusakan batu penyusun struktur selasar. Air tersebut membawa sampah padat (plastik, puntung rokok, biji-bijian, kertas), debu vulkanik, maupun zat-zat kimia yang terlarut dari reaksi antara batu dan semen pada bagian candi yang berada di atas selasar.

Percobaan pembuatan mortar tradisional perlu dilanjutkan dan dikembangkan, terutama menyangkut material dan komposisinya. Hal ini dikarenakan selain berfungsi untuk menutup nat terbuka dan mencegah masuknya air ke dalam struktur selasar, mortar juga berfungsi untuk memperkuat struktur batu pada selasar sehingga stabilitas candi khususnya pada bagian Kamadhatu dapat dipertahankan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2009. http://id.wikipedia.org/wiki/Kalsium_hidroksida.
- Anshory Irvan. 1987. *Penuntun Pelajaran Kimia*. Bandung: Ganeca Exact.
- Antono, A.. 1971. *Ilmu Bahan Konstruksi Teknik*.
- Cahyandaru, Nahar. 2008. *Laporan Studi Analisis Mortar Pemugaran I dan Kajian Kemungkinan Dampaknya Terhadap Kelestarian Candi Borobudur*. Borobudur: Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.
- Casparis, J. G. de. 1950. *"Prasasti Indonesia I"*. Bandung: A.C. Nix & Co.
- Day Ir R.A and Underwood A.L., 1986. *Analisis Kimia Kwantitatif*, Jakarta: Erlangga.
- Giorgio Torraca, 1977. *Building Materials and Deterioration Proses*, International Centre for Conservation.
- Munandar, Aris. 1999. *Studi Pelapukan Batu Candi Siwa Prambanan*. Magelang: Balai Studi dan Konservasi Borobudur.
- Nuhrha Doddy Setia. 1987. *Batuan dan Mineral*. Bandung: Nova.
- Soenarjo, dkk. 2007. *Laporan Studi Kemiringan dan Kemelasan Selasar Candi Borobudur*. Borobudur: Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.
- Stambolov, T. and J.R.J. Van Asperen de Boer. 1976. *The Deterioration and Conservation of Porous Building Materials in Monument*, 2nd ed, ICSPRCP. Roma.
- Suyanto, dkk. 2007. *Laporan Studi Alternatif Sistem Perkuatan Selasar Candi Borobudur*. Borobudur: Balai Konservasi Peninggalan Borobudur.
- W. F. Stuterheim. 1950. *Chandi Borobudur Name Form and Meaning, Studies In Indonesia Archaeology*. Batavia: Kolff & Co.
- Sudibyo, dkk. 2002. *Studi Proses Penggambaran Pada Batu dan Metode Penanganannya*. Borobudur: Balai Studi dan Konservasi Borobudur.
- Verhoef P N W, 1992, *Geologi Untuk Teknik Sipil*. Jakarta: Erlangga.